



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

مطالعه فلزات سنگین در رسوبات بستر رودخانه و سد مه‌آباد، و ارزیابی خطر مصرف ماهی‌های خوراکی منطقه

امید لاهیجانی، میثم رستگاری‌مهر^{*}، عطا شاکری، مینا یگانه‌فر
گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله: چکیده

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۲۶
تاریخ ویرایش: ۹۹/۰۳/۱۸
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۲۱
تاریخ انتشار: ۹۹/۰۳/۳۱

واژگان کلیدی: رسوب، شاخص خطر، فلزات سنگین، ماهی، رودخانه مه‌آباد

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
rastegar.m@khu.ac.ir

زمینه و هدف: آلودگی فلزات سنگین به‌ویژه در محیط‌های آبی از مسائل مهم است. با توجه به تامین آب شرب شهر مه‌آباد از سد، و نیز فروش ماهی‌های صید شده در منطقه، غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه و سد مه‌آباد و خطر سلامت ناشی از مصرف ماهی‌های موجود در منطقه بررسی شد.

روش بررسی: نمونه برداری رسوب از ۲۱ ایستگاه در رودخانه و سد مه‌آباد و ۱۶ نمونه ماهی (دو گونه *Sander lucioperca* و *Abramis brama*) انجام شد. نمونه‌ها بعد از آماده‌سازی به روش ICP-MS آنالیز شدند. برای تحلیل داده‌ها از ضریب غنی‌شدگی (EF)، شاخص خطر بوم‌شناختی (RI)، شاخص‌های ریسک سلامت، تحلیل مولفه اصلی (PCA) و آزمون Mann-Whitney استفاده شد.

یافته‌ها: مقادیر EF و RI فلزات سنگین در رسوب پایین بود اما بیشینه غلظت سرب، روی، مس، آرسنیک و منگنز به‌ترتیب به ۳۶، ۱۶۲، ۷۴، ۲۲/۸، ۳۲۲۱ mg/kg می‌رسد. این امر به‌ویژه در نمونه‌های مربوط به رودخانه و در پایین دست سد مشهود است. با این وجود تجمع فلزات سنگین در بافت ماهی‌ها موجب شده است که مقادیر خارج قسمت خطر کل (THQ) به‌ویژه برای آرسنیک (۱/۱۹)، و شاخص خطر (بیش از ۱) و مقدار میزان مصرف روزانه (EDI) برای مس (۱/۶۴) در منطقه بالا باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که شرایط فیزیکوشیمیایی مناسب برای تحرک عناصر در رودخانه و سد مه‌آباد فراهم است. بنابراین نیاز به بررسی تحرک و زیست‌دسترس‌پذیری فلزات سنگین در رسوب منطقه و پایش مستمر غلظت فلزات سنگین در آب، رسوب و ماهی منطقه وجود دارد.

مقدمه

چرخه زمین شیمیایی هر عنصر تاثیر مهمی بر بوم سامانه داشته و آلودگی آب به وسیله عناصر سنگین عامل مهمی در چرخه عناصر محسوب می شود (۱). رسوبات مهمترین محیط در ارتباط با آب هستند و هر دو می توانند تاثیر زیادی بر یکدیگر داشته باشند. آگاهی از هر دو محیط و تبادلات بین آنها، در تحلیل مسائل زیست محیطی حائز اهمیت است (۲). معمولا رسوب به عنوان بزرگترین مخزن برای ذخیره آلاینده‌ها در محیط‌های آبی و نیز جایگاهی خاص برای آلودگی‌هایی که می توانند برای دوره‌های طولانی باقی بمانند، محسوب می شود (۳). یکی از مسائلی که امروزه در کانون توجه سازمان‌های زیست محیطی و بهداشتی قرار گرفته است، آلودگی ناشی از فلزات سنگین در محیط‌های رسوبی است. غلظت و گونه‌های عناصر موجود در ستون آب و نیز در رسوبات نقش مهمی در تعیین زیست دسترس پذیری فلزات ایفا می کنند. از طرفی تجزیه و تحلیل آب و رسوب به تنهایی نمی تواند اطلاعات کافی در مورد اثرات موجود در این ماتریکس‌ها در اکوسیستم را فراهم کند، بنابراین ماهی‌ها به عنوان شاخص زیستی مناسبی برای ارزیابی آلودگی‌های زیست محیطی در نظر گرفته می شوند (۴). در سال‌های گذشته ورود فلزات سنگین در اثر تخلیه پساب‌های صنعتی و شهری به اکوسیستم‌های آبی، افزایش یافته است (۶). فلزات سنگین آلاینده‌های زیست محیطی بسیار پایدار هستند از این رو در محیط برای مدت زمان طولانی باقیمانده و مقدارشان در زنجیره غذایی افزایش می یابد (۷). شناخت آلودگی محیط‌های آبی از نظر فلزات سنگین سمی در رسوبات با توجه به اثرات سوء در بهداشت عمومی، جذب و ذخیره آنها در بافت‌های انسانی، حیوانی و گیاهی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است لذا جهت کنترل این آلودگی‌ها، بایستی منشا آنها را مشخص کرد. برخی از فلزات سنگین موجود در رسوب، در اثر زیست‌انباشت در بافت‌های بدن ماهیان و سایر موجودات کفزی تجمع یافته و هنگامی که موجودات بزرگ‌تر از این ارگانیسم‌های

آلوده تغذیه کنند، فلزات در اندام‌های آنها انباشت شده و می تواند به سطوح بعدی زنجیره غذایی انتقال یابد (۸). در اثر این فرایند غلظت مواد شیمیایی سمی می تواند در بدن ماهیان، نرم‌تنان و پستانداران دریایی به حد خطرناکی برسد و سبب بروز اختلالاتی در عملکرد طبیعی آبزیان یا حتی مرگ آنها گردد (۹، ۱۰).

با توجه به اهمیت خطرات زیست محیطی مربوط به آلودگی فلزات سنگین در رسوبات، تحقیقات زیادی توسط محققین در سراسر جهان و ایران در این زمینه صورت گرفته است. در تحقیقات Shakeri و همکاران (۱۱، ۱۲) در سد شهید رجایی، آلودگی نسبی فلزات سنگین در رسوب مخزن سد مشاهده شده و غلظت بالای عناصری مانند کروم و جیوه در ماهی‌های صید شده از سد گزارش شده است. براساس مطالعه Malvandi و همکار (۱۳)، غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه چشمه کیله مازندران جز آرسنیک آلوده نبوده و شاخص خطر بوم‌شناختی نشان از ریسک کم فلزات سنگین در این رودخانه دارد. Sabbir و همکاران (۱۴) با بررسی رسوب و ماهی‌های رودخانه Rupsha در مالزی، بیشترین غلظت عناصر را در نزدیکی محوطه کشتی‌سازی مشاهده کرده و تفاوت غلظت فلزات سنگین در بافت گونه‌های مختلف ماهی را گزارش کردند. همچنین Ikem و همکاران (۱۵) با بررسی رسوب و ماهی‌های دریاچه Tuskegee آمریکا مشاهده کردند که تمام عناصر جزئی غیر از نیکل که تنها در فاز باقیمانده رسوبات قرار داشت، در هر دو فاز باقیمانده و غیرباقیمانده حضور دارند و شدت آلودگی به سمت پایین دست جریان افزایش می یابد. با این وجود ماهی‌های موجود در دریاچه آلودگی خاصی از فلزات سنگین نشان ندادند.

سد مخزنی مهاباد به دلیل تامین آب شرب شهرستان و روستاهای اطراف و همچنین تامین آب برای فعالیت‌های کشاورزی، آبی‌پروری و دامپروری از اهمیت بسیار بالایی از نظر کیفی و کمی برخوردار است. این

نام‌های بیطاس و کوتر، و یک شاخه فرعی به نام دهبرک تغذیه می‌شود. حوضه آبریز مه‌باد دارای زمستانی سرد و مرطوب و تابستانی معتدل و خشک است. در این منطقه میانگین دمای هوای سالانه 13°C ، میانگین بارش 400 mm و تعداد روزهای یخبندان سالانه ۹۹ روز است. محدوده مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی دارای سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین، آهک‌های دولومیتی پرمین و تشکیلات قم بوده و فراوان‌ترین سنگ‌های تشکیل دهنده بستر زیرحوضه‌های سد مخزنی مه‌باد از نوع سنگ‌های رسوبی دانه‌ریز هستند (۱۶).

- نمونه‌برداری و روش‌های آزمایشگاهی

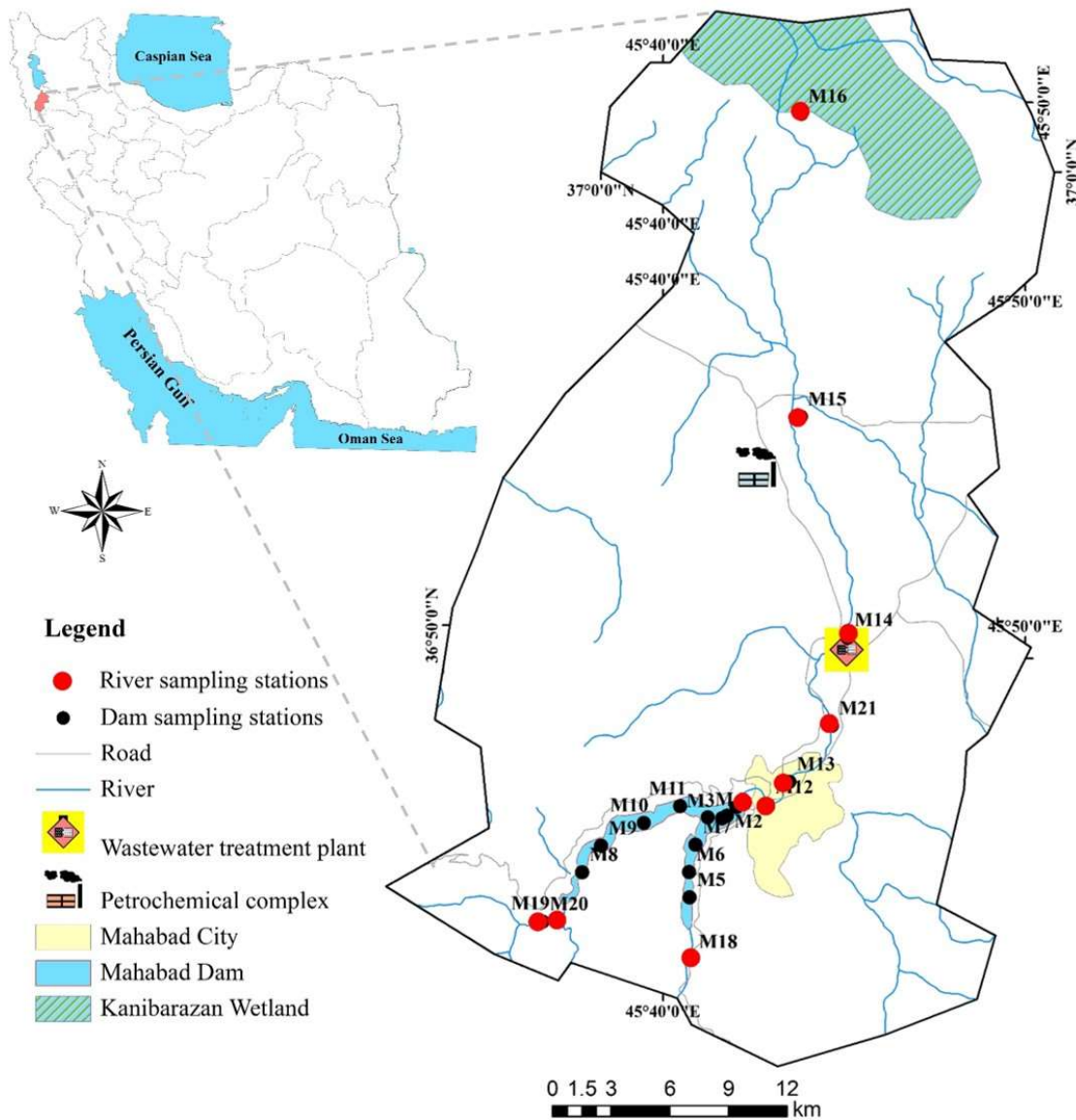
در این پژوهش برای نمونه‌برداری از الگوی قضاوتی استفاده شد، بدین معنی که با توجه به کاربری اراضی، موقعیت منابع احتمالی آلاینده مانند تصفیه خانه فاضلاب شهری و پتروشیمی، مساحت مخزن سد و شاخه‌های فرعی مهم ورودی به رودخانه نقاط نمونه‌برداری تعیین شد. به منظور پوشش کامل مخزن سد و سرشاخه‌های رودخانه تا تالاب کانی‌برازان در مجموع ۲۱ ایستگاه نمونه‌برداری انتخاب شد. از این تعداد ۱۰ نمونه مربوط به رودخانه (چهار نمونه بالادست و شش نمونه پایین دست سد) و ۱۱ نمونه مربوط به مخزن سد است (شکل ۱). نمونه‌برداری از رسوب به روش ترکیبی (Composite sampling) با استفاده از چنگک فولادی ضدزنگ ون‌وین (Van Veen Grab) انجام گرفت. برای این منظور، در هر ایستگاه از سه نقطه نمونه رسوب برداشته شد و پس از آمیختن سه نمونه، کسری از آن در کیسه‌های پلی‌اتیلن ضخیم قرار گرفت. نمونه‌ها شماره‌گذاری شده و سپس به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه نمونه‌ها در دمای اتاق خشک و توسط هاون چینی همگن شده، و سپس بخشی از آنها برای تعیین غلظت عناصر پس از عبور از غربال $230\text{ }\mu\text{m}$ برای تجزیه به روش ICP-MS و هضم به روش چهار اسید به آزمایشگاه ارسال شد.

سد از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی مایل بوده که جزو ده سد پرآب کشور است و در حالت کلی مجموع حجم کل ورودی سالانه آن معادل $339/304$ میلیون مترمکعب (Million cubic meter (MCM)) است. سد مه‌باد دارای 197 MCM ظرفیت اسمی و 172 MCM ظرفیت مفید است که علاوه بر تامین آب شرب شهر، بیش از 12 هزار هکتار از اراضی کشاورزی این شهرستان را نیز زیر پوشش قرار می‌دهد. سالانه بیش از 100 MCM از آب ذخیره شده در پشت سد مه‌باد به مصارف بخش کشاورزی و 19 MCM نیز به مصرف شرب می‌رسد. همچنین صید ماهی‌های موجود در سد توسط شرکت تعاونی صیادی مه‌باد و فروش آنها در شهر یکی از فعالیت‌های اقتصادی مهم مرتبط با سد مه‌باد است. بنابراین با توجه به ارتباط دو محیط آب و رسوب، مطالعه کیفیت رسوب منطقه اهمیت زیادی دارد. در این مطالعه به بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سد و رودخانه مه‌باد، و ارزیابی ریسک سلامت ناشی از مصرف ماهی‌های خوراکی منطقه پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

- منطقه مورد مطالعه

سد مخزنی مه‌باد در فاصله یک کیلومتری غرب شهر مه‌باد و بر روی رودخانه مه‌باد بین طول جغرافیایی 45° و $33'$ تا 46° و $43'$ شرقی و عرض جغرافیایی 36° و $25'$ تا 37° و $11'$ شمالی واقع شده است (شکل ۱). حوضه آبریز سد مخزنی مه‌باد با مساحت 829 km^2 ، از منابع اصلی تامین آب شرب، آب مورد نیاز مراکز صنعتی و کشاورزی شهرستان مه‌باد است. حوضه آبریز سد مه‌باد از شمال با جلگه مه‌باد، از شرق با حوضه آبریز سیمینه رود، از غرب با حوضه آبریز گادار و از جنوب با حوضه آبریز زاب دارای خط الرأس مشترک بوده و در شمال نیز با تالاب کانی‌برازان و دریاچه ارومیه هم‌مرز است. این سد از دو زیر حوضه اصلی به



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

حاوی یخ با دمای 2°C بلافاصله به آزمایشگاه آماده‌سازی منتقل شدند. لازم به ذکر است که از مجموع ۱۶ ماهی صید شده، پس از زیست‌سنجی، ماهی‌های هم‌وزن و هم‌اندازه برای تهیه مقدار نمونه مورد نیاز با هم ترکیب شده و در نهایت از هرگونه ماهی (بالغ و نابالغ)، دو نمونه کبد و دو نمونه ماهیچه (در مجموع ۸ نمونه) به‌دست آمد. در

به منظور بررسی غلظت فلزات سنگین در عضله (بافت خوراکی) و کبد ماهی ۱۶ نمونه از دو گونه *Sander lucioperca* و *Abramis brama* (۸ نمونه از هر گونه)، در مخزن سد با تورهای پره بافته صید شد. ماهی‌ها از نظر گونه دسته‌بندی و داخل کیسه‌های استریل پلی‌اتیلنی کدگذاری شده قرار گرفتند و با نگهداری در جعبه یونولیت

$$C_f^i = C_n^i / C_s^i \quad (2)$$

$$E_r^i = T_r^i \times C_r^i \quad (3)$$

$$RI = \sum_{r=1}^n E_r^i \quad (4)$$

که در آنها، C_f^i شاخص آلودگی یک فلز، C_n^i غلظت فلز در نمونه، C_s^i مقدار زمینه فلز (در این مطالعه از شیل استفاده شد) و E_r^i خطر بوم‌شناختی هر عنصر است. T_r^i ضریب واکنش سمیت فلز است که مقادیر آن به ترتیب به صورت $Zn = 1 < Cr = 2 < Cu = Ni = Pb = 5 < As = 10 < Cd = 30$ است. خطر بوم‌شناختی هر عنصر و شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی (RI) به ترتیب به پنج و چهار رده مجزا قابل تقسیم هستند (۱۹).

- تجزیه و تحلیل آماری

در این مطالعه آمار توصیفی (میانگین، کمینه، بیشینه، ضریب تغییرات و ...) و تحلیل مولفه اصلی (Principal component analysis) به منظور بررسی ارتباط بین عناصر، و آزمون آماری Mann-Whitney (به دلیل توزیع غیرنرمال داده‌ها) برای ارزیابی تفاوت در غلظت فلزات سنگین نمونه‌های رسوب رودخانه و مخزن سد و نیز دو گونه ماهی مورد بررسی، انجام شد که با استفاده از نرم افزار SPSS, 19 صورت گرفت.

- ارزیابی ریسک سلامت

- خارج قسمت خطر کل

(Total Hazard Quotient (THQ))

محاسبه خارج قسمت خطر کل یکی از روش‌های اندازه‌گیری اثرات بهداشتی در معرض قرارگیری آلاینده‌های شیمیایی غیرسرطان‌زا است. THQ توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده، به عنوان شاخص خطر یکپارچه برای مقایسه مقدار مصرف یک آلاینده با دوز مرجع استاندارد ارائه

آزمایشگاه ۵۰ g از بافت ماهیچه و کبد ماهی با آب مقطر شستشو داده شده و در ظروف پتری استریل انتقال یافت. نمونه‌ها در Oven در دمای ۵۵ °C به مدت ۴ شبانه روز قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. نمونه‌های خشک شده با هاون چینی کاملاً کوبیده و همگن شدند (۱۷). برای جلوگیری از جذب رطوبت هوا، نمونه‌ها در دسیکاتور قرار داده شده و سپس برای تجزیه به روش ICP-MS پس از هضم چهار اسید به آزمایشگاه ارسال شدند.

- ضریب غنی‌شدگی (Enrichment Factor (EF))

یک روش متداول برای تخمین غلظت فلزات سنگین (با منشا زمین‌زاد و انسان‌زاد) موجود در رسوب، محاسبه ضریب غنی‌شدگی (EF) است (۱۸). این ضریب طبق معادله ۱ محاسبه می‌شود:

$$EF = (C_M / Ti)_{Sample} / (C_M / Ti)_{Background} \quad (1)$$

در این معادله، $(C_M / Ti)_{Sample}$ غلظت فلز موردنظر به عنصر مرجع (در این مطالعه تیتانیم) در نمونه‌ها است و $(C_M / Ti)_{Background}$ بیانگر نسبت غلظت فلز به تیتانیم در نمونه زمینه (در این مطالعه شیل میانگین) است. براساس ضریب غنی‌شدگی می‌توان نمونه‌های آلوده را به پنج دسته، غنی‌شدگی کم ($EF < 2$)، غنی‌شدگی متوسط ($2 \leq EF \leq 5$)، غنی‌شدگی زیاد ($5 < EF \leq 20$)، بسیار غنی شده ($20 < EF \leq 40$) و به شدت غنی شده ($EF > 40$) طبقه‌بندی نمود.

- شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی

(Ecological Risk Index (RI))

پتانسیل خطر بوم‌شناختی فلزات در رسوب با استفاده از شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی که توسط Hakanson (۱۹) پیشنهاد شده است، محاسبه گردید. این شاخص از طریق معادلات ۲ تا ۴ محاسبه می‌شود:

- شاخص خطر (Hazard Index (HI))

با توجه به روند افزایشی ترکیب عناصر کمیاب در ماهی، شاخص خطر (HI) برای برآورد خطر آلودگی چندگانه به صورت معادله ۷ محاسبه می‌شود (۲۰):

$$HI = \sum THQS \quad (7)$$

یافته‌ها

خلاصه آماری غلظت عناصر مورد مطالعه در نمونه‌های رسوب رودخانه و مخزن سد و غلظت آنها در شیل میانگین در جدول ۱ ارائه شده است. غلظت میانگین فلزات کروم، نیکل و روی در هر رودخانه و مخزن سد از شیل میانگین بیشتر است در حالی که میانگین غلظت منگنز تنها در رودخانه، و آرسنیک، مس و سرب در نمونه‌های مخزن سد بیش از مقادیر شیل میانگین است. همچنین بالاترین غلظت‌های کروم، مس و نیکل در رسوبات مخزن سد، بیشینه غلظت آرسنیک، منگنز و سرب در پایین دست سد (رسوب رودخانه) مشاهده می‌شود. بررسی داده‌ها با آزمون Mann-Whitney نیز نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) غلظت آرسنیک، کادمیم، کروم و نیکل بین نمونه‌های رسوب رودخانه و مخزن سد است (جدول ۲). نتایج زیست‌سنجی نمونه‌های ماهی و غلظت فلزات سنگین در بافت ماهیچه و کبد در جدول ۳ آورده شده است. همچنین به منظور ارزیابی خطر تجمع فلزات سنگین در بافت عضله ماهی در سد مهاباد، مقادیر نتایج تحقیق با استانداردهای مجاز تعیین شده فلزات سنگین در سازمان بهداشت جهانی (WHO) مقایسه شد. غلظت بیشتر عناصر مورد مطالعه در ماهیچه ماهی‌ها بیش از کبد آنها است. سرب و نیکل در نمونه‌های بالغ هر دو گونه، و کادمیم در نمونه بالغ گونه *Abramis brama* است. همچنین براساس نتایج آزمون Mann-Whitney تنها غلظت سرب اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) در بین دو گونه ماهی مورد مطالعه نشان داد.

شده است (۲۰). میزان THQ به عنوان یکی از پارامترهای معقول برای ارزیابی خطر ابتلا به بیماری‌هایی غیر از سرطان در ارتباط با مصرف ماهی‌های آلوده به فلزات سنگین به رسمیت شناخته شده است (۲۱). احتمال خطرپذیری افراد به بیمارهای غیرسرطانی از طریق معادله ۵ محاسبه می‌شود (۲۲):

$$THQ = \frac{EF \times ED \times FIR \times CF \times C_m}{R_f D_0 \times BW \times AT} \times 10^{-3} \quad (5)$$

در این معادله، THQ خارج قسمت خطر، EF (Exposure Frequency) قرارگیری (۳۶۵ روز)، ED (Exposure Duration) مدت زمان در معرض قرارگیری (۷۲ سال)، FIR (Fish Ingestion Rate) میزان مصرف ماهی (۷ g/day)، CF نسبت وزن تر به خشک (۰/۲ اعمال شده)، C_m غلظت فلز سنگین، $R_f D_0$ (Reference Dose) دوز مرجع مصرف برای هر فلز که طبق مقادیر ارائه شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA) برای آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، منگنز، نیکل، سرب و روی به ترتیب ۰/۰۰۰۳، ۰/۰۰۰۱، ۱/۵، ۰/۰۰۴، ۰/۱۴، ۰/۰۲، ۰/۰۰۴ و ۰/۳ mg/kg/day است. Bw (Body weight) میانگین وزن افراد (۷۰ kg) و AT (Average Time) متوسط زمان در معرض قرارگیری است که از معادله ($ED \times EF$) به دست می‌آید (۲۲-۲۰).

- تخمین جذب روزانه (Estimated Daily Intake (EDI))

میزان جذب روزانه فلزات سنگین در اثر مصرف ماهی از طریق معادله ۶ محاسبه می‌شود (۲۳):

$$EDI = C \times MS_D / BW \quad (6)$$

در این معادله، EDI میزان جذب روزانه فلزات توسط بدن، C غلظت فلزات در ماهیچه ماهی، MS_D میزان مصرف ماهی بر حسب گرم در روز، BW وزن بدن افراد مصرف کننده است.

جدول ۱- خلاصه آماری غلظت عناصر بالقوه سمی در رسوبات رودخانه و مخزن سد (برحسب mg/kg)

Zn	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	عنصر	
								پارامتر	نوع نمونه
۱۰۹/۴	۱۱/۶۸	۰/۱۹	۱۰۶/۹	۴۶/۷	۱۰۳۱/۷	۶۸/۲	۱۸/۷	میانگین	رسوب رودخانه
۰/۳۱	۰/۴۵	۰/۳۸	۰/۰۸	۰/۲۶	۰/۸۳	۰/۱۱	۰/۳۷	ضریب تغییرات	
۱۶۲	۲۲/۸	۰/۳	۱۲۱	۶۶	۳۲۲۱	۷۹	۳۴	حداکثر	
۷۶	۶/۲	۰/۱	۹۶	۲۹	۵۱۶	۵۷	۱۰	حداقل	
۹۷/۵۴	۱۶/۷۸	۰/۲۶	۱۱۸/۴۵	۵۱/۹	۷۸۲/۰۹	۹۰/۰۹	۲۱	میانگین	رسوب مخزن سد
۰/۱	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۱۱	ضریب تغییرات	
۱۱۳	۱۹/۶	۰/۳	۱۲۹	۷۴	۹۱۹	۱۰۰	۲۴	حداکثر	
۸۷	۱۴/۱	۰/۲	۱۰۵	۴۴	۵۹۹	۸۱	۱۶	حداقل	
۸۵	۱۳	۰/۳	۱۰۰	۵۰	۹۰۰	۶۰	۲۰	شیل میانگین (۲۴)	

جدول ۲- نتایج آزمون Mann-Whitney نمونه‌های رسوب و ماهی

Zn	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	عنصر	
								پارامتر	نوع نمونه
۵۳/۵	۲۰	۲۵	۱۸/۵	۳۶/۵	۴۲	۰	۳۵	Mann-Whitney U	رسوب رودخانه و مخزن سد
۱۱۹/۵	۷۵	۸۰	۷۳/۵	۹۱/۵	۹۷	۵۵	۹۰	Wilcoxon W	
-۰/۱۱	-۲/۴۷	-۲/۳۰	-۲/۵۸	-۱/۳۱	-۰/۹۲	-۳/۸۸	-۱/۴۲	Z	
۰/۹۲	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۲۰	۰/۳۹	۰	۰/۱۷	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	
۶	۸	۷	۱	۶	۴	۱	۰	Mann-Whitney U	دو گونه مختلف ماهی
۱۶	۱۸	۱۷	۱۱	۱۶	۱۴	۱۱	۱۰	Wilcoxon W	
-۰/۵۸	۰	-۰/۲۹	-۲/۰۳	-۰/۶۲	-۱/۲۳	-۲/۰۲	-۲/۳۲	Z	
۰/۶۹	۱	۰/۸۹	۰/۰۶	۰/۶۹	۰/۳۴	۰/۰۶	۰/۰۳	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	

جدول ۳- میانگین طول و وزن، و غلظت عناصر در نمونه‌های ماهی و مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی (mg/kg dw)

Zn	Pb	Ni	Mn	Cu	Cr	Cd	As	یافت	وزن (g)	طول (cm)	گونه ماهی
۲۶/۸۴	۰/۱۹۳	۰/۱۸۷	۲	۳۱	۰/۰۹۳	۰/۶۲۸	۰/۶	ماهیچه	۶۰۰	۴۵	Sander Iucioerca Adult
۱۵/۸۴	۰/۰۱	۰/۱۹۱	۱	۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۵۸	کبد			
۳۶/۷۸	۰/۰۱	۰/۱۹۷	۴	۱۵	۰/۰۶	۰/۶۳۳	۱/۶۷۶	ماهیچه	۱۲۵	۲۹	Sander Iucioerca Immature
۱۹/۰۹	۰/۳۴۴	۰/۳۶۲	۴	۱	۰/۰۱	۰/۱۵۵	۰/۳۸۲	کبد			
۲۷/۱۶	۱۱/۰۹	۱/۲۲۵	۶	۷	۰/۸۹۷	۰/۲۰۷	۰/۵۰۸	ماهیچه	۸۰۰	۴۳	Abramis brama Adult
۱۹/۶۱	۰/۲۶۷	۰/۶۸۸	۳	۱	۰/۳۵۷	۰/۰۴۲	۰/۲۵۴	کبد			
۳۵/۲۶	۰/۰۸۷	۰/۳۰۸	۴	۱۲	۰/۱۶۲	۰/۲۳۸	۰/۶۶۳	ماهیچه	۱۷۰	۲۴	Abramis brama Immature
۲۱/۰۶	۰/۹۱۷	۰/۵۱۴	۱	۱	۰/۰۷۴	۱/۶۲۲	۰/۴۶۵	کبد			
۱۰۰	۲	۰/۶	۱	۳۰	۰/۱۵	۱	۱	ماهیچه	بیشینه غلظت مجاز ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی (۲۴-۲۶)		

دیگر ضریب تغییرات بیشتر رودخانه نسبت به مخزن سد است. در بین عناصر مورد مطالعه منگنز، آرسنیک، کادمیم، سرب و روی بیشترین ضریب تغییرات را در رسوب رودخانه نشان می‌دهند که می‌تواند تا حدودی بیانگر اثر بیشتر منابع آلاینده انسان‌زاد بر این عناصر باشد.

ضریب غنی‌شدگی بیانگر شدت تاثیر عامل خارجی بر رسوبات است. با توجه به نتایج محاسبات ضریب غنی‌شدگی (نمودار ۱)، میزان غنی‌شدگی برای عنصر منگنز در ایستگاه‌های نمونه‌برداری داخل شهر دارای بیشترین مقدار است. کادمیم در تمام نمونه‌ها غنی‌شدگی ضعیف دارد. همچنین سایر عناصر نیز در برخی ایستگاه‌های نمونه‌برداری فاقد غنی‌شدگی هستند. حدود ۳۹ درصد از ایستگاه‌های نمونه‌برداری غنی‌شدگی متوسط آرسنیک و نیکل دارند در حالی که غنی‌شدگی متوسط کروم، مس، سرب و روی به ترتیب در ۱، ۲، ۳ و ۱ ایستگاه نمونه‌برداری مشاهده شد. در میان ایستگاه‌های نمونه‌برداری نیز، نمونه‌های برداشته شده از انتهای شاخه سردشت و پایین دست تصفیه‌خانه فاضلاب مهاباد، پتروشیمی مهاباد و خیابان مامندگلایی (با رواناب شهری) غنی‌شدگی بیشتری را نسبت به سایر نمونه‌ها نشان دادند به طور کلی عناصر از نظر غنی‌شدگی به ترتیب به صورت $As > Ni > Zn > Cu > Cr > Mn > Pb > Cd$ هستند.

ارزیابی میزان ریسک قرارگیری در معرض فلزات سنگین به واسطه مصرف ماهی‌های صید شده از سد مهاباد با استفاده از محاسبه شاخص‌های سلامت شامل خارج قسمت خطر (THQ)، شاخص خطر (HI) و میزان جذب روزانه (EDI) صورت گرفت. نتایج محاسبه این شاخص‌ها در جداول ۴ و ۵ نشان داده شده است.

بحث

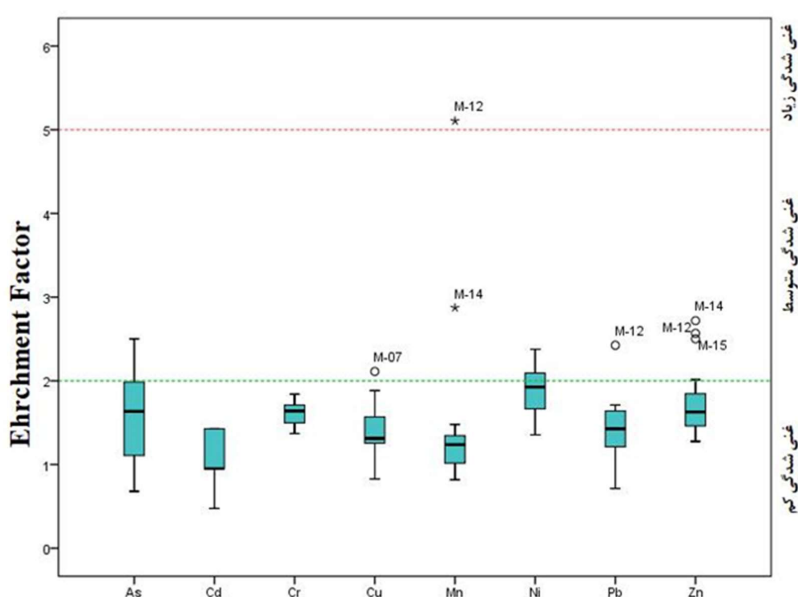
با توجه به جدول ۱، میزان ضریب تغییرات تمام عناصر در رسوب رودخانه بیشتر از رسوب مخزن سد است. این امر می‌تواند بیانگر تغییرات غلظت عناصر در مسیر رودخانه به دلیل عبور از شهر و ورود منابع آلاینده شهری و صنعتی به آن باشد چرا که علاوه بر ورود پراکنده فاضلاب شهری به رودخانه در محدوده شهر مهاباد، پساب تصفیه‌خانه فاضلاب این شهر نیز به صورت نقطه‌ای به آن تخلیه می‌شود. تاثیر تخلیه پساب تصفیه‌خانه فاضلاب مهاباد در کیفیت رسوب به گونه‌ای است که بیشینه غلظت عناصر آرسنیک، مس و روی در رسوب برداشته شده از پایین دست این تصفیه‌خانه اندازه‌گیری شده است. تفاوت معنی‌دار آماری در غلظت عناصر بین نمونه‌های رسوب رودخانه و مخزن سد نیز می‌تواند به دلیل منابع آلاینده متعدد در مسیر رودخانه باشد. همچنین تفاوت غلظت نمونه‌های رسوب رودخانه در بالادست (پیش از ورود به شهر) و پایین دست سد از دلایل

جدول ۴- محاسبه خارج قسمت خطر (THQ) و شاخص خطر (HI) فلزات سنگین در بافت ماهیچه ماهی

HI	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	گونه ماهی
۰/۷۶۴	۰/۴۲۸	۰/۱۳۴	۰/۰۰۰۲	۰/۱۶۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱۹	Sander Iucioperca Adult
۱/۴۴۹	۱/۱۹۷	۰/۱۳۵	۰/۰۰۰۱	۰/۸۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۵	۰/۰۲۶	Sander Iucioperca Immature
۱/۰۸۲	۰/۳۶۳	۰/۰۴۴	۰/۰۰۰۲	۰/۰۳۷	۰/۰۰۹	۰/۰۱۳	۰/۵۸۴	۰/۰۱۹	Abramis brama Adult
۰/۶۸۲	۰/۴۷۳	۰/۰۵۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۶۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۵۸۳	۰/۰۲۵	Abramis brama Immature

جدول ۵- میزان تخمین مصرف روزانه (EDI) از مصرف ماهی توسط ساکنان محلی

عنصر	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	گونه ماهی
	۰/۰۲۶	۰/۰۲۷	۰/۰۱۸	۰/۶۳	۰/۰۸۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۱/۱۵	Sander Iucioperca Adult
	۱/۱۸۲	۰/۰۲۷	۰/۰۱۲	۱/۶۴	۰/۱۷۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۳	۱/۵۷	Sander Iucioperca Immature
	۰/۲۰۳	۰/۰۰۸	۰/۱۸	۰/۳	۰/۲۵۷	۰/۰۵۲	۰/۴۵۷	۱/۱۶	Abramis brama Adult
	۰/۰۲۶	۰/۰۱	۰/۰۳۲	۰/۵۱۴	۰/۱۷۱	۰/۰۱۲	۰/۰۴۶	۱/۵۱	Abramis brama Immature



نمودار ۱- نمودار جعبه‌ای ضریب غنی شدگی عناصر مورد مطالعه در رسوب

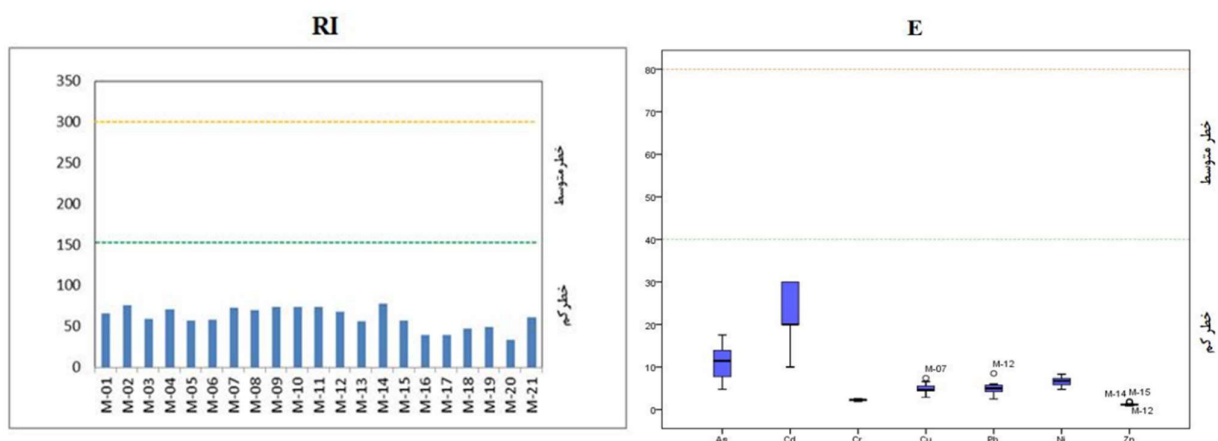
به کادمیم و روی است. همچنین یافته‌های مورد بررسی شاخص خطر بالقوه بوم‌شناختی (RI) نشان می‌دهد که خطر این فلزات در منطقه به‌طور کلی کم ($RI < ۱۵۰$) است. با این حال مقادیر این شاخص در رسوب رودخانه در پایین‌دست سد به ویژه پایین‌دست تصفیه‌خانه فاضلاب بیشتر است. مقایسه نتایج محاسبه خطر بالقوه بوم‌شناختی در این مطالعه با برخی مطالعات مشابه در سایر نقاط جهان نشان می‌دهد که این شاخص در رودخانه و سد مهاباد

نتایج بررسی خطر بوم‌شناختی فلزات سنگین در نمودار ۲ آورده شده است. به‌طور کلی این یافته‌ها نشان می‌دهد همه ایستگاه‌های مورد بررسی، از نظر خطر بوم‌شناختی فلزات سنگین برای آرسنیک، سرب، مس، کادمیم، کروم، نیکل و روی در رده خطر کم ($E < ۴۰$) قرار دارند. علاوه بر این روند تغییرات خطر هر فلز در منطقه به ترتیب روند کاهش $Cd > As > Ni > Pb > Cu > Cr > Zn$ را نشان می‌دهد. در واقع بیشترین و کمترین خطر به ترتیب مربوط

در زمان نمونه‌برداری کاملاً مشهود بود، می‌تواند از دیگر منابع ورود این فلزات به رودخانه باشند. همچنین دلیل دیگر همراهی منگنز در این مولفه ممکن است به دلیل توانایی اکسی-هیدروکسیدهای منگنز در جذب سطحی فلزات با منشا انسان‌زاد در رسوب باشد. مولفه دوم ۲۸/۴۷ درصد از واریانس کل را توضیح می‌دهد و شامل بار بالایی از دو عنصر کروم و نیکل است. به نظر می‌رسد که منشا اصلی این دو عنصر سازندهای زمین‌شناسی منطقه است و از هوازگی سنگ‌های اطراف منشا گرفته‌اند. به عبارت دیگر، عناصر قرار گرفته در این مولفه کمتر از گروه اول تحت تاثیر منابع انسان‌زاد قرار گرفته‌اند. ضریب تغییر بسیار کوچک این دو عنصر در نمونه‌های رودخانه و مخزن سد (جدول ۱) مویید این امر است. همچنین مولفه سوم که ۲۲/۶۴ درصد از واریانس کل را توضیح می‌دهد شامل دو عنصر مس و آرسنیک است. بالاترین غلظت این دو عنصر در پایین دست تصفیه‌خانه فاضلاب مشاهده شده است و با توجه به توانایی کلوئیدهای آلی در جذب این عناصر (۲۲) دلیل قرارگیری این دو عنصر در مولفه سوم، تمایل آنها به تجمع در فاز آلی رسوبات است.

کمتر از رودخانه کارون (۲۷)، رودخانه Houjing تایوان (۲۸) و بندر Dongjiang چین (۲۹) بوده و قابل مقایسه با رودخانه چشمه کیله مازندران (۱۳) است. حضور صنایع متعدد شیمیایی و نفتی در مجاورت رودخانه‌های مذکور از دلایل ریسک اکولوژیک بیشتر آنها نسبت به رودخانه و سد مهاباد است.

به منظور بررسی ارتباط میان عناصر مورد مطالعه در رسوب و تعیین منشا تقریبی آنها از تحلیل مولفه اصلی با استخراج مولفه‌های با eigenvalue بزرگ‌تر از ۱، پس از Varimax rotation استفاده شد. برای انجام این آزمون، با توجه به توزیع غیرنرمال داده‌ها (براساس آزمون Shapiro-Wilk) از داده‌های log-normal استفاده شد. سه مولفه اصلی با توضیح بیش از ۸۴ درصد از واریانس کل داده‌ها استخراج شد (جدول ۶). مولفه اول با توضیح ۳۳/۲۸ درصد از واریانس کل، بار شدیدی از عناصر سرب و روی داشته و به‌طور متوسط شامل منگنز، کادمیم و تا حدودی مس است. سرب و روی در نمونه‌های برداشته شده از رودخانه در محل عبور از شهر مهاباد بیشترین غلظت را دارند و احتمالاً تحت تاثیر رواناب‌های شهری قرار دارند. علاوه بر این، وجود حجم زیادی از زباله‌های شهری در کنار رودخانه که



نمودار ۲- نمودار جعبه‌ای خطر بالقوه بوم شناختی عناصر مورد مطالعه

جدول ۶- تحلیل مولفه اصلی فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب

عنصر	مولفه		
	۱	۲	۳
As	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۷۴
Cd	۰/۵۱	۰/۱۷	۰/۴۳
Cr	۰/۰۲	۰/۹۰	-۰/۱۵
Cu	۰/۴۱	-۰/۱۵	۰/۷۹
Mn	۰/۶۴	۰/۳۹	-۰/۰۳
Ni	-۰/۱۹	۰/۹۵	۰/۱۹
Pb	۰/۸۷	۰/۱۹	۰/۲۳
Zn	۰/۸۰	-۰/۳۶	۰/۲۶

که می‌تواند مشکلاتی را در مصرف‌کنندگان ایجاد نماید و استانداردهای موجود می‌تواند به عنوان یک هشدار در نظر گرفته شود.

ریسک قرارگیری در معرض فلزات سنگین از طریق مصرف محصولات دریایی اغلب به وسیله خارج قسمت خطر (THQ) و شاخص خطر (HI) محاسبه می‌شود. اگر THQ و HI کمتر از یک باشد بیانگر آن است که هیچ خطر محسوس قابل ارزیابی از نظر بهداشتی بر روی سلامتی در نتیجه مصرف ماهی رخ نمی‌دهد، اما در صورتی که این نسبت برابر یا بزرگ‌تر از یک باشد نشان دهنده احتمال بالای خطرپذیری است و همچنین نشان می‌دهد که قرار گرفتن در معرض آن ماده شیمیایی به احتمال زیاد اثر سوء بهداشتی خواهد داشت (۳۰). نتایج نشان می‌دهد که مقادیر THQ برای تمام عناصر مورد مطالعه در گونه *Abramis brama* کمتر از یک است. این وضعیت برای گونه *Sander lucioperca* نیز مشاهده می‌شود با این تفاوت که آرسنیک در نمونه نابالغ این گونه مقدار THQ بیشتر از یک را نشان می‌دهد (جدول ۳). همچنین میزان HI محاسبه شده در

میانگین غلظت مس در ماهیچه نمونه‌های بالغ و نابالغ گونه *Sander lucioperca* و میانگین غلظت آرسنیک و روی در ماهیچه نمونه‌های نابالغ این گونه بیشتر از غلظت آنها در ماهیچه گونه *Abramis brama* است. از طرفی، میانگین غلظت سرب، کروم، نیکل و منگنز در نمونه‌های بافت ماهیچه‌ای گونه *Abramis brama* بیشتر از گونه *Sander lucioperca* است. همچنین میانگین غلظت آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، منگنز، نیکل، سرب و روی در ماهیچه هر دو گونه ماهی بیشتر از کبد آن است. به منظور ارزیابی خطر تجمع فلزات سنگین در بافت عضله ماهی در سد مهاباد، مقادیر نتایج تحقیق با استانداردهای مجاز تعیین شده فلزات سنگین در سازمان بهداشت جهانی (WHO) مقایسه شد (جدول ۲). بر این اساس، در منطقه مورد مطالعه غلظت نیکل، سرب، منگنز و کروم در گونه *Sander lucioperca* و مس در گونه *Abramis brama* پایین‌تر از استاندارد WHO بوده، و غلظت عناصر روی، مس، کادمیم و آرسنیک در گونه *Sander lucioperca* و سرب، نیکل، کروم، منگنز، روی، کادمیم و آرسنیک در گونه *Abramis brama* بیشتر از حد مجاز مشاهده شد

بافت عضله ماهی نابالغ *Sander Iucioperca* و نمونه بالغ *Abramis brama* بزرگ‌تر از یک بوده و بنابراین مصرف آبزیان فوق می‌تواند مشکلاتی را برای سلامتی مصرف‌کنندگان در پی داشته باشد.

در مطالعه حاضر میزان جذب روزانه (EDI) فلزات سنگین در اثر مصرف نمونه‌های نابالغ ماهی *Sander Iucioperca* برای فلزات (Zn, Cr, Ni, Mn, Cr, Cd) پایین‌تر از میزان مجاز ارائه شده توسط متخصصان افزودنی‌های مواد غذایی سازمان بهداشت جهانی، و برای عناصر As و Cu بالاتر از حد مجاز مشاهده شد که می‌تواند مشکلاتی را در مصرف‌کنندگان ایجاد نماید. با این حال براساس این شاخص، در اثر مصرف گونه *Abramis brama* خطری از نظر آلودگی فلزات سنگین مصرف‌کنندگان را تهدید نمی‌کند. مقایسه نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های ریسک سلامت در این مطالعه با سایر مطالعات نشان داد که در رودخانه خیاو اردبیل (۳۱) نیز تنها در مورد فلز آرسنیک مقادیر THQ بیش از یک است. همچنین در مطالعه‌هایی که توسط Khandaker و همکاران (۳۲)، و Islam و همکاران (۳۳) به ترتیب بر روی ماهی‌های مصرفی در مالزی و بنگلادش انجام دادند نیز مانند این مطالعه تفاوت‌های آشکاری در میزان EDI محاسبه شده برای گونه‌های مختلف ماهی مشاهده شد و آرسنیک و مس به‌عنوان عناصری با مقدار جذب بالا گزارش شده‌اند.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به منظور اندازه‌گیری ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، منگنز، نیکل، سرب و روی در رسوب و ارزیابی ریسک سلامت ماهی در رودخانه و سد مخزنی مه‌آباد صورت گرفت. براساس یافته‌های موجود می‌توان نتیجه گرفت میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوب رودخانه و سد مه‌آباد از نظر پتانسیل غنی‌شدگی و خطر اکولوژیکی از شدت کمی برخوردار است اما در برخی از ایستگاه‌ها غلظت سرب، روی، مس، آرسنیک،

منگنز و کادمیم تحت تاثیر منابع آلاینده انسانی (به ویژه پساب تصفیه‌خانه فاضلاب، رواناب‌های شهری و پسماند) قرار گرفته‌اند. این غنی‌شدگی در نمونه‌های رسوب پایین دست رودخانه بیش از مخزن سد است. به‌طور کلی کروم و نیکل در رسوب منطقه عمدتاً منشأ زمین‌زاد دارند و کمتر از سایر عناصر تحت تاثیر منابع انسان‌زاد قرار گرفته‌اند. از آنجا که اندازه‌گیری غلظت کل به تنهایی نمی‌تواند خطر آلودگی فلزات سنگین در رسوب را بیان کند، بهتر است با استفاده از روش‌های مناسب استخراج گزینشی، زیست‌دسترس‌پذیری عناصر و امکان ورود آنها به ستون آب و بنابراین ورود به زنجیره غذایی بررسی شود. از لحاظ ریسک سلامت غلظت کادمیم، آرسنیک، روی و مس در بافت عضله ماهی *Sander Iucioperca* و سرب، نیکل، کروم، منگنز، روی، کادمیم و آرسنیک در بافت عضله ماهی *Abramis brama* بیش از میزان مجاز ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی بوده، و براساس شاخص‌های خطر محاسبه شده، آرسنیک بیشترین خطر را برای مصرف‌کنندگان ماهی‌های منطقه ایجاد می‌کند. با این وجود با بررسی گونه‌های غالب آرسنیک در نمونه‌های ماهی می‌توان نتایج دقیق‌تری به‌دست آورد چرا که گونه متیله شده این عنصر خطر کمتری از گونه‌های عنصری دارد. به‌طور کلی علیرغم غنی‌شدگی پایین عناصر مورد مطالعه در رسوب منطقه، به نظر می‌رسد که تحرک و زیست‌دسترس‌پذیری آنها بالا بوده و به راحتی در دسترس گونه‌های آبی قرار می‌گیرند. بنابراین پایش دوره‌ای آب، رسوب و ماهی‌های منطقه از نظر آلودگی با فلزات سنگین به منظور جلوگیری از قرارگیری ساکنین در معرض آلودگی‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه با عنوان "بررسی زیست دسترس پذیری عناصر بالقوه سمی، باکتری‌های کاهنده سولفات و ذرات میکروپلاستیک در رسوبات رودخانه

و سد مهاباد" در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۸ است که با حمایت شرکت مدیریت منابع آب ایران و دانشگاه خوارزمی اجرا شده است.

References

1. Xiaoping W, Fei Z, Jianli D. Evaluation of water quality based on a machine learning algorithm and water quality index for the Ebinur Lake Watershed, China. *Scientific Reports*. 2017;7(1):1-18.
2. Núñez R, Garcia MA, Alonso J, Melgar MJ. Arsenic, cadmium and lead in fresh and processed tuna marketed in Galicia (NW Spain): Risk assessment of dietary exposure. *Science of the Total Environment*. 2018;627:322-31.
3. Gagnon C, Fisher NS. The bioavailability of sediment-bound Cd, Co, and Ag to the mussel *Mytilus edulis*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1997;54(1):147-56.
4. Chovanec A, Hofer R, Schiemer F. Fishes as bioindicators. In: Markert BA, Breure AM and Zechmeister HG, editors. *Bioindicators and biomonitors, principles, concepts and applications*. Amsterdam: Elsevier; 2003.
5. Lamas S, Fernandez JA, Aboal JR, Carballeira A. Testing the use of juvenile *Salmo trutta* L. as biomonitors of heavy metal pollution in freshwater. *Chemosphere*. 2007;67(2):221-28.
6. Khodadai A, Tavakoli Mohammadi M, Mrzban M, Ahmadi M. Evaluation of natural and artificial sources of mercury pollution using GIS in a number of provinces. *Fourth Conference of Environmental Engineering*; 2010; Tehran, Iran (in Persian).
7. Bing H, Zhou J, Wu Y, Wang X, Sun H, Li R. Current state, sources, and potential risk of heavy metals in sediments of Three Gorges Reservoir, China. *Environmental Pollution*. 2016;214:485-96.
8. Abida B, Harikrishna S, Irfanulla K. Analysis of heavy metals in water, sediments and fish samples of Madivala lakes of Bangalore, Karnataka. *International Journal of Chemtech Research*. 2009;1(2):245-49.
9. Al-Taani AA, Batayneh AT, El-Radaideh N, Ghrefat H, Zumlot T, Al-Rawabdeh AM, Al-Momani T, Taani A. Spatial distribution and pollution assessment of trace metals in surface sediments of Ziqlab Reservoir, Jordan. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015;187(2):32.
10. Yi Y, Yang Z, Zhang S. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. *Environmental Pollution*. 2011;159(10):2575-85.
11. Shakeri A, Shakeri R, Mehrabi B. Potentially toxic elements and persistent organic pollutants in water and fish at Shahid Rajaei Dam, north of Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2015;12(7):2201-12.
12. Shakeri A, Shakeri R, Mehrabi B. Contamination, toxicity and risk assessment of heavy metals and metalloids in sediments of Shahid Rajaie Dam, Sefidrood and Shirinrood Rivers, Iran. *Environmental Earth Sciences*. 2016;75(8):679.
13. Malvandi H, Hassanzadeh N. Environmental and ecological risk evaluation of heavy metals in surface sediments of the CheshmeKile River, Mazandaran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2018;11(3):419-32 (in Persian).

14. Sabbir W, Rahman MZ, Hasan MM, Khan MN, Ray S. Assessment of heavy metals in river water, sediment and fish mussel in rupsha river under Khulna district, Bangladesh. *International Journal of Expterial Agriculture*. 2018;8:1-5.
15. Ikem A, Egiebor N, Nyavor K. Trace elements in water, fish and sediment from Tuskegee Lake, Southeastern USA. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2003;149(1-4):51-75.
16. Aghanabati A. *Geology of Iran*. Tehran: Geological and Mineral Exploration Organization of Iran; 2001 (in Persian).
17. Voegborlo R, Akagi H. Determination of mercury in fish by cold vapour atomic absorption spectrometry using an automatic mercury analyzer. *Food Chemistry*. 2007;100(2):853-58.
18. Huu Hieu H, Swennen R, Van Damme A. Distribution and contamination status of heavy metals in Estuarine sediments near Cua ONG Harbor, Ha Long Bay, Vietnam. *Geologica Belgica*. 2002;2010:37-47.
19. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*. 1980;14(8):975-1001.
20. Chien LC, Hung TC, Choang KY, Yeh CY, Meng PJ, Shieh MJ, Han BC. Daily intake of TBT, Cu, Zn, Cd and As for fishermen in Taiwan. *Science of the Total Environment*. 2002;285(1-3):177-85.
21. Li J, Huang ZY, Hu Y, Yang H. Potential risk assessment of heavy metals by consuming shellfish collected from Xiamen, China. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013; 20(5):2937-47.
22. Huang M, Wang W, Leung H, Chan CY, Liu WK, Wong MH, Cheung KC. Mercury levels in road dust and household TSP/PM2.5 related to concentrations in hair in Guangzhou, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2012;81:27-35.
23. Copat C, Bella F, Castaing M, Fallico R, Sciacca S, Ferrante M. Heavy metals concentrations in fish from Sicily (Mediterranean Sea) and evaluation of possible health risks to consumers. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2012;88(1):78-83.
24. Musa AM, Oyedeji DE, Bello MS. Bioaccumulation of heavy metals in some tissues of croaker fish from oil spilled rivers of Niger Delta region, Nigeria. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2017;7(6):563-68.
25. Ahmed MK, Baki MA, Kundu GK, Islam MS, Islam MM, Hossain MM. Human health risks from heavy metals in fish of Buriganga river, Bangladesh. *SpringerPlus*. 2016;5(1):1697.
26. El-Moselhy KM, Othman AI, Abd El-Azem H, El-Metwally ME. Bioaccumulation of heavy metals in some tissues of fish in the Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2014;1(2):97-105.
27. Keshavarzi B, Mokhtarzadeh Z, Moore F, Mehr MR, Lahijan-zadeh A, Rostami S, Kaabi H. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of Karoon River, Khuzestan Province, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015;22(23):19077-92.
28. Vu CT, Lin C, Shern CC, Yeh G, Tran HT. Contamination, ecological risk and source apportionment of heavy metals in sediments and water of a contaminated river in Taiwan. *Ecological Indicators*. 2017;82:32-42.
29. Guo W, Liu X, Liu Z, Li G. Pollution and potential ecological risk evaluation of heavy metals in the sediments around Dongjiang Harbor, Tianjin. *Procedia Environmental Sciences*. 2010;2:729-36.
30. Shulkin V, Presley B, Kavun VI. Metal concentrations in mussel *Crenomytilus grayanus* and oyster *Crassostrea gigas* in relation to contamination of ambient sediments. *Environment International*. 2003;29(4):493-502.
31. Shakeri A, Fard MS, Mehrabi B, Mehr MR. Occurrence, origin and health risk of arsenic and potentially toxic elements (PTEs) in sediments and fish tissues from the geothermal area of the Khiav River, Ardebil Province (NW Iran). *Journal of Geochemical Exploration*. 2020;208:106347.
32. Khandaker MU, Asaduzzaman K, Nawi SM, Usman AR, Amin YM, Daar E, et al. Assessment of radiation and heavy metals risk due to the dietary intake of marine fishes (*Rastrelliger kanagurta*) from the straits of Malacca. *PloS One*. 2015;10(6).
33. Islam MS, Ahmed MK, Habibullah-Al-Mamun M. Determination of heavy metals in fish and veg-

etables in Bangladesh and health implications. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2015;21(4):986-1006.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Study of heavy metals in bottom sediments of Mahabad river and dam, and investigating the risk of consumption of edible fish in the area

Omid Lahijani, Meisam Rastegari Mehr*, Ata Shakeri, Mina Yeganeh Far

Department of Applied Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 16 March 2020

Revised: 7 June 2020

Accepted: 10 June 2020

Published: 20 June 2020

Keywords: Sediment, Risk index, Heavy metals, Fish, Mahabad river

***Corresponding Author:**

rastegar.m@khu.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Heavy metals contamination, particularly in aquatic environments, is an important concern. Since Mahbad river is the source for supplying drinking water to the city and the dam established on it is used for catching fish and sale in the market, heavy metals concentrations in the sediments of Mahabad River and the Dam, and the possible health risk of the fish consumption were investigated.

Materials and Methods: Sediment samples from 21 sites in Mahabad dam, and river, and 16 fish samples (*Sander lucioperca* and *bramis brama* species) were collected. After preparation, the samples were analyzed using ICP-MS method. For data analysis, enrichment factor (EF), potential ecological risk index (RI), health risk indices, principal component analysis (PCA) and Mann-Whitney test were used.

Results: The EF and RI values of the studied heavy metals in the sediments were low. The max concentrations of lead, zinc, copper, arsenic and manganese were 36, 162, 74, 22.8 and 3221 mg/kg, respectively. This was more obvious in the samples taken from the downstream of the dam. However, accumulation of the heavy metals in fish tissues resulted in high values for total hazard quotients (THQ), particularly for As (1.19); high hazard index (above 1); and high estimated daily intake (EDI) for copper (1.64) in the study area.

Conclusion: The results of this study revealed that the conditions for elements' mobility and bioavailability was suitable in the river and Mahabad Dam. Therefore, assessing the mobility and bioavailability of the heavy metals in the sediments of the region, and measurement and continuous monitoring of the heavy metals concentrations in the water, sediment and fish of the study area are needed.